

формы, то можно сделать вывод, что гидродинамическим методом измельчения можно достичь более высокой степени стабильности технологических смазок.

Качество технологических смазок характеризуется, кроме прочих показателей, и величиной зольности. Высокая зольность смазки отрицательно отражается на стойкости штампов при горячей штамповке. гидродинамический способ измельчения графита в отличие от шаровых мельниц, не повышает зольность в смазке по причине отсутствия трения между мельящими элементами (металлические элементы шаровых мельниц).

В результате проведенной работы была выпущена опытная партия технологической смазки ГФП-Д (графито-фосфатный препарат). Указанная смазка предназначена для горячей объемной штамповки.

Смазка прошла промышленные испытания на ГАЗе, ЗИЛе, Таганрогском комбайновом заводе, Токмакском кузнечно-штамповочном заводе. Наносилась смазка на штамп распылением. Конструкция распылителя была предложена нами. При этом было установлено, что смазка ГФП-Д не образует дыма, копоти, не имеет запаха, легко наносится на штамп; поковки легко извлекаются из полости штампа; смазка не вызывает коррозии штампа и обрабатываемого металла, не токсична и удобна в обращении; по эффективности смазка ГФП-Д превосходит смазку ОГВ-75, но дешевле её в три раза и имеет вышеуказанные достоинства.

Анализ последних исследований и публикаций по проблеме изготовления водно-графитовых смазок показал, что предлагаемый нами способ гидродинамического измельчения графита нигде в мире пока не применяется.

Выводы: разработан и освоен принципиально новый способ измельчения графита для производства водно-графитовых технологических смазок.

**УДК 621.771.26.011**

**ТИХОМИРОВ Ю.С.**, студент, НТУ «ХПИ»

**КУЗЬМЕНКО В.И.** канд. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»

### **РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ, АЛГОРИТМА И ОБУЧАЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ ДЛЯ РАСЧЕТА ТЕПЛОВЫХ И КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПЛАМЕННЫХ ПЕЧЕЙ**

Статья посвящена разработке методики и алгоритма проектирования камерных печей с постоянной температурой рабочего пространства, предназначенных для нагрева кузнечных заготовок. Создана программа, позволяющая выполнять расчеты тепловых и конструктивных элементов печи, в соответствии с заданной производительностью, материалом и размерами заготовок. Программа позволяет ускорить технические расчеты и повысить их точность, в тоже время она является обучающей и позволяет исследовать влияние теплофизических параметров печи и заготовки на процесс нагрева. Намечены пути создания универсальной комплексной методики расчета для основных типов пламенных печей.

Ключевые слова: нагрев, программа, алгоритм, печь, время нагрева, эскиз, тонкое тело, температурные напряжения.

Стаття присвячена розробці методики й алгоритму проектування камерних печей з постійною температурою робочого простору, призначених для нагріву ковальських заготовок. Створено програму, що дозволяє виконувати розрахунки теплових і конструктивних елементів печі, відповідно до заданої продуктивності, матеріалом і розмірами заготівель. Програма дозволяє при-

скорити технічні розрахунки й підвищити їх точність, у тей же час вона є навчальною й дозволяє досліджувати вплив теплофізичних параметрів печі та заготівки на процес нагрівання. Намічено шляхи створення універсальної комплексної методики розрахунку для основних типів полум'яних печей.

Ключові слова: нагрів, програма, алгоритм, піч, час нагрів, ескіз, тонке тіло, температурні напруження.

Article is devoted working out of a technique and algorithm of designing of chamber furnaces with constant temperature of the working space, the forge preparations intended for heating. The program is created, allowing to carry out calculations of thermal and constructive elements of the furnace, according to the set productivity, a material and the sizes of preparations. The program allows to accelerate technical calculations and to raise their accuracy, during too time it is training and allows to investigate influence of a temperature mode of heating, a material of preparation, fuel structure on heating process. Ways of creation of a universal complex design procedure for the basic types of ardent furnaces are planned.

Keywords: heating, the program, algorithm, the furnace, heating time, the sketch, a thin body, temperature pressure.

Существует значительное количество методик расчета времени нагрева заготовок под ковку и объемную штамповку. Большинство из них громоздки, при этом основаны на довольно грубых допущениях. Это приводит к снижению точности, потере физической сущности процесса и делает их малоприменимыми для обучения студентов.

Все эти методы имеет ряд недостатков: -относительно низкая точность расчета, так как он ведется по усредненным параметрам за весь период расчета; -формулы расчета имеют приближенный характер; -расчет нагрева массивных тел ведется с помощью графиков и номограмм, что делает расчет очень трудоемким; -при расчете требуется значительное количество справочной литературы.

В связи с этим возникла необходимость разработки более практичных методик расчета, позволяющих повысить качество конечного результата и сохранить основные положения процесса нагрева заготовок. Это позволит студентам закрепить изученный материал и сделает его более понятным и доступным. Для реализации такой методики на практике, нами создана программа расчета на ПК, которая включает элементы экспериментального анализа и аналитического исследования процесса нагрева.

Была разработана методика расчета камерных печей, включающая в себя: расчет горения топлива, расчет времени нагрева заготовок, определение размеров рабочего пространства печи, выбор кладки и определение наружных размеров печи, расчет теплового баланса и определение расхода топлива, расчет основных технико-экономических показателей работы печи. Она позволяет по заданному составу топлива, производительности, материалу и размерам заготовки рассчитать тепловые и конструктивные элементы камерной печи. Это позволяет использовать ее для самостоятельной работы и практических занятий по курсу «Технология нагрева и нагревательные устройства кузнечно-штамповочных цехов» студентов, обучающихся по специальности «Машины и технология обработки металлов давлением».

В основу положено решение уравнения теплопроводности Фурье  $\frac{\partial^2 T}{\partial \tau^2} = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x}$ .

В результате профессором Б.В.Старком была получена формула для определения времени нагрева [1,2]

$$\tau = \frac{S \cdot \rho \cdot C_p \cdot \ln \frac{t_f - t_i}{t_f - t_n}}{k_1 \cdot \alpha} \quad (1)$$

Где  $\tau$  – время нагрева, (ч);  $t_n$  – температура печи, (°C);  $t_i$  – начальная температура изделия, (°C);  $t_f$  – конечная температура изделия, (°C);  $k_1$  – коэффициент зависящий от формы нагреваемого тела;  $\alpha$  – коэффициент теплопередачи на поверхность, [м²/ч];  $S$  – толщина прогреваемого слоя, (м);  $\rho$  – плотность материала нагреваемого изделия, (кг/м³);  $C_p$  – средняя теплоемкость, (кДж/кг °C);

В основе математической модели используемой для расчета времени нагрева в данной работе используется формула 1 представленная в критериальном виде:

$$Tm[i] = Tpe - (Tpe - Tm[i-1]) \cdot \exp \left( \frac{(-k1 \cdot \alpha \cdot \Delta\tau)}{(S \cdot \rho \cdot C_p \cdot m)} \right), \quad (2)$$

где  $Tm[i]$  – температура тела на данном шаге итерации, (°C);  $Tm[i-1]$  – температура тела на предыдущем шаге итерации, (°C);  $Tpe$  – температура печи, (°C);  $\Delta\tau$  – задаваемый пользователем интервал времени, (с);  $\rho$  – плотность стали, (г/см³);  $C_p$  – теплоемкость металла, (кДж/(кг·°C));  $k1$  – коэффициент, зависящий от формы тела;  $S$  – толщина нагрева, (м);  $m$  – коэффициент учитывающий массивность заготовки;  $\alpha$  – суммарный коэффициент теплопередачи учитывающий лучистый и конвективный теплообмен (Вт/ м²C).

Метод расчета основан на последовательном приближении к требуемой температуре нагрева. Температуру нагрева вычисляем дискретно на коротких интервалах времени  $\Delta\tau_i$  (рис.1). При этом используем теплофизические параметры материала нагреваемой заготовки соответствующие средней температуре на  $i$ -ом интервале. Вычисление продолжаем до достижения требуемой температуры с погрешностью не более 2%. Затем суммируется количество интервалов (шагов итерации) и умножается на  $\Delta\tau$ .

Общее время нагрева определяется по формуле

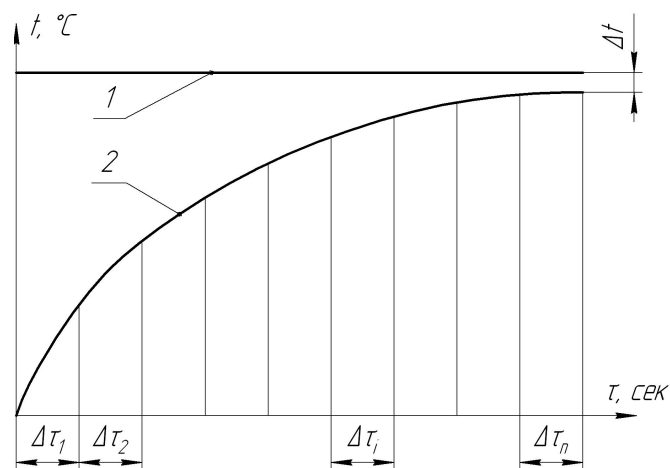
$$\tau = \sum_{i=1}^n \Delta\tau[i], \quad (3)$$

где  $n$  – число шагов итерации;

С целью расширения возможностей использования уравнения для массивных тел, в него вводят поправочный коэффициент массивности  $m$

$$m = 1 + [(k_3 - 1)/(k_2 \cdot k_3)]Bi,$$

где  $k_2$ ,  $k_3$  – коэффициенты определяемые формой тела и величиной критерия Био



1 – Температура печи; 2- Температура поверхности заготовки

Рисунок 1 – Схема определения времени нагрева

Полная методика расчета нагрева заготовок включает в себя расчет горения топлива, расчет времени нагрева заданной заготовки дляковки (штамповки) в камерной печи, определение размеров рабочего пространства печи, эскиз пода печи, выбор кладки, компоновку печи, эскиз печи, расчет теплового баланса, определение расхода топлива, расчет основных технико-экономических показателей работы печи. Использование такой методики позволяет значительно повысить точность расчета времени нагрева.

Для реализации методики создан алгоритм и программа расчета камерной печи под названием Heat v2 Professional Она позволяет в автоматическом режиме выполнять расчеты по нагреву металлических заготовок подковку и штамповку в камерных печах с постоянной температурой рабочего пространства, анализировать влияние теплофизических параметров, вида топлива, конструкции топливо сжигающих устройств и расположения заготовок на поду печи на время нагрева, скорость нагрева, «массивность» тела и т.д.

Исходными параметрами являются: -1. Размеры нагреваемой заготовки (диаметр и длина);-2. Марка материала заготовки;-3. Температура рабочего пространства печи;-4. Начальная и конечная температуры нагреваемой заготовки;-5. КПД горелки;-6. Вид и состав топлива;-7. Размещение заготовок (варьируемый параметр):-7.1. Расстояние между заготовками;-7.2. Расстояние между рядами;-8. Количество рядов и количество заготовок в ряду;

Главные особенности программы:

- **Простота использования.** От пользователя требуется только ввести состав топлива, диаметр заготовки, длину заготовки, выбрать марку стали, задать необходимую производительность и нажать кнопку «Расчет!». Программа рассчитает все необходимые параметры, при вычислении формул выберет необходимые коэффициенты. Также в ней присутствует встроенная база данных сталей, из которой программа сама возьмет все необходимые параметры: время конца и началаковки, теплоемкость, плотность и теплопроводность выбранной стали. Главное окно программы представлено на рис.2

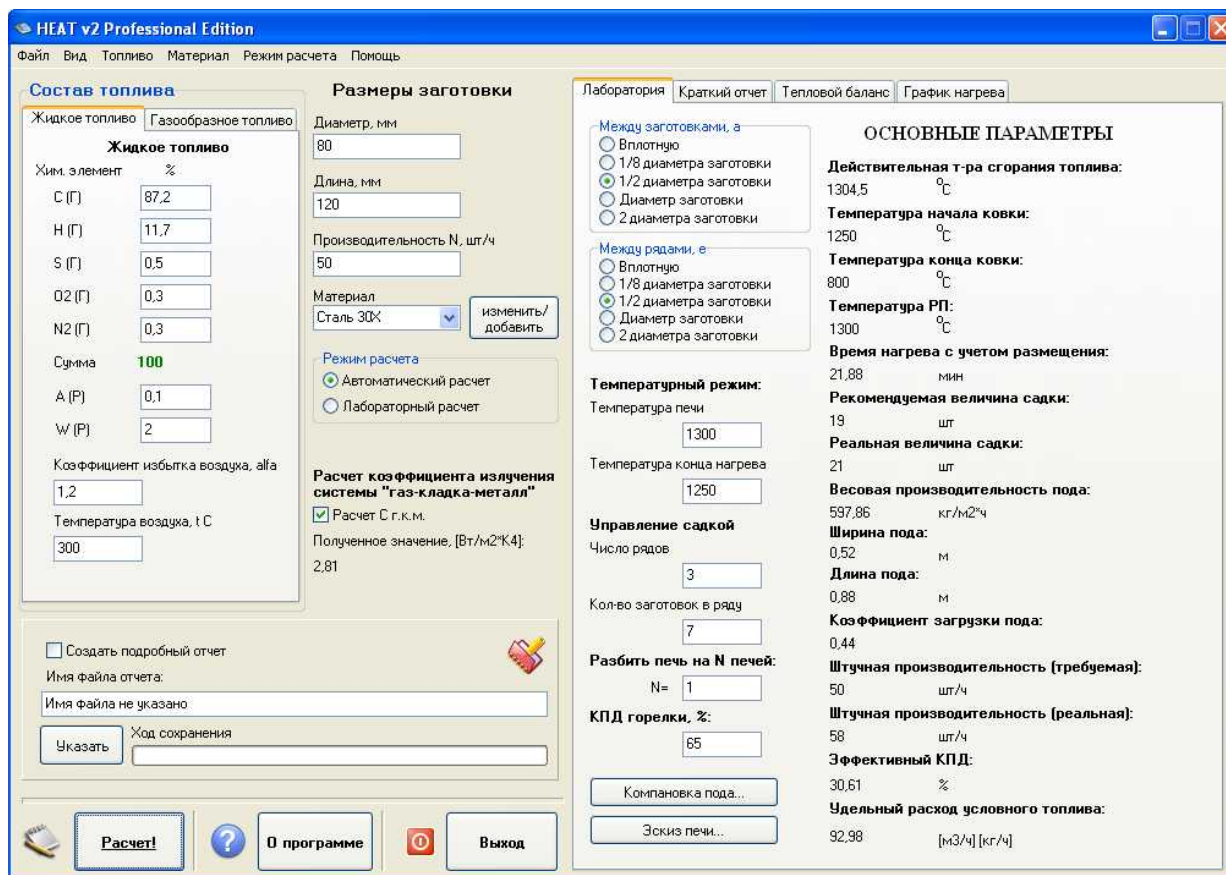


Рисунок 2 - Главное окно программы

Программа предусматривает автоматический или лабораторный режим расчета.

- **Автоматический режим расчета.** Встроенная система АРОП (Автоматический расчет оптимальных параметров) - автоматически выбирает температурные режимы нагрева (температуру печи и температуру конца нагрева в соответствии с маркой стали), число рядов и число заготовок в ряду так, чтобы обеспечивалась необходимая величина садки и оптимальные размеры пода (отношение длины печи к ее ширине). Также АРОП следит за тем, чтобы обеспечивался оптимальный коэффициент загрузки пода, производительность пода и температура горения топлива. Если коэффициент загрузки пода мал, то заготовки будут разложены с меньшими зазорами и будет выполнен полный перерасчет. Если производительность пода слишком велика, то расстояние между заготовками будет увеличено. Также может возникнуть ситуация, когда сгорание заданного топлива не может обеспечить нужную температуру печи. В этом случае АРОП предложит применить горелку с большим КПД или повысить температуру первичного воздуха, или предложит заменить топливо.

- **Лабораторный режим расчета.** Если пользователя не устраивает результат работы АРОП или программа используется в режиме обучения студентов, следует выбрать режим «Лабораторный расчет». При этом пользователь сам выбирает топливо, температурный режим, число рядов, количество заготовок в ряду и прочие параметры, чтобы обеспечить необходимые размерные параметры печи, величину садки, коэффициент загрузки пода, температуру горения топлива и т.д. Но даже в этом случае АРОП, работая в пассивном режиме, будет оповещать пользователя, если какой-либо из параметров выходит за заданные пределы.



- **Точность расчета.** Точность расчёта оценивалась при решении тестовых задач. Погрешность не превышает допустимую. Был реализован расчет  $C_{Г.К.М.} \left[ \frac{Вт}{м^2 \cdot К} \right]$

- приведенного коэффициента лучеиспускания между продуктами горения, внутренней поверхностью стены и поверхностью металла с учётом размещения и размеров заготовок, состава продуктов горения, а, следовательно, состава топлива и размеров рабочего пространства печи. Расчет данного коэффициента позволяет значительно повысить точность расчета времени нагрева заготовки и, как следствие, всех остальных параметров.

- **Полное решение поставленной задачи.** Кроме расчета числовых значений, программа автоматически выполняет графические построения- эскиз пода, эскиз печи и график температурного режима нагрева заготовки.

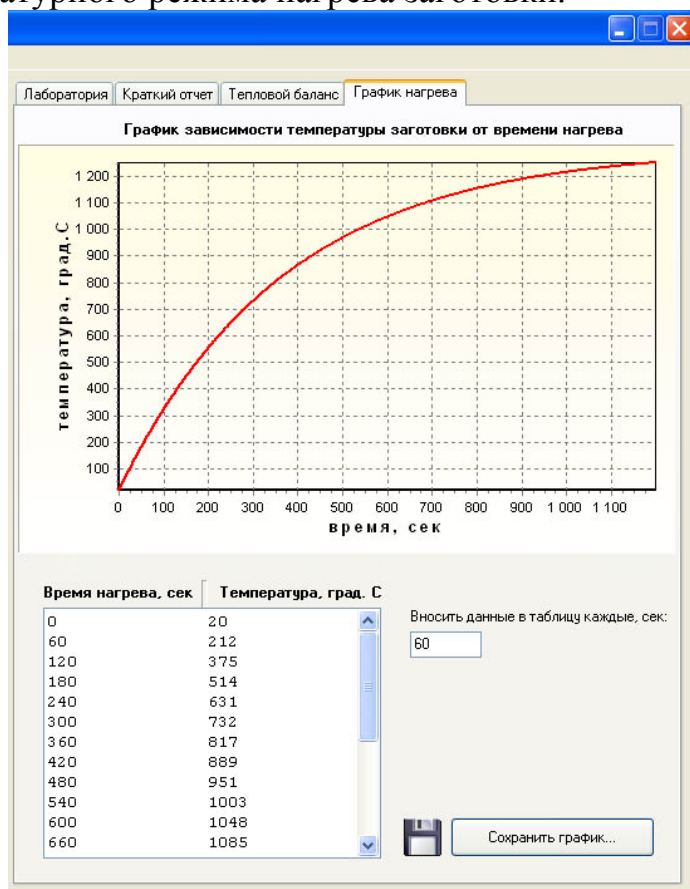


Рисунок 3 – График нагрева

- **Сохранение работы.** Если пользователю нужно сделать перерыв, или требуется продолжить работу в следующий раз, то в любой момент можно сохранить введенные исходные данные и параметры лаборатории в файл, а затем загрузить их снова и продолжить работу. Для хранения исходных данных программа использует свой собственный формат файла \*.hat.

- **Отчеты и сохранение результатов.** В окне программы можно просмотреть только основные параметры печи и краткий отчет. Поэтому предусмотрена возможность создать полный отчет, в который входят результаты всех расчетов, эскизы печи и пода. Для создания полного отчета в формате \*.doc необходимо, чтобы на компьютере была установлена программа Microsoft Office Word. Для автоматизации работы с этим офисным пакетом была использована технология **OLE (Object Linking and Embedding)**. Основное преимущество ис-

пользования OLE, кроме уменьшения размера файла, в том, что она позволяет создать главный файл, картотеку функций, к которой обращается программа. Этот файл может оперировать данными из исходной программы, которые после обработки возвращаются в исходный документ.

График нагрева, эскиз печи, эскиз пода (рис.3,4,5) можно сохранить отдельно в файл формата \*.bmp (BitMap). Сохраненные эскизы имеют высокое разрешение, что позволяет им безупречно выглядеть на печати.

**- Высокая степень защиты.** Данная программа фактически может служить инструментом для расчета самостоятельной работы по курсу «Технология нагрева и нагревательные устройства кузнечно-штамповочных цехов». В этом случае возникает угроза того, что программа несанкционированно попадет в руки студентам, например, может быть украдена с кафедры ОМД и будет использоваться для расчета (не для проверки, а именно для расчета или же подгонки своих результатов) недобросовестными студентами. Чтобы не допустить такой ситуации были приняты строжайшие меры и разработана нестандартная многоуровневая система безопасности, использующая нестандартные алгоритмы шифрования данных. Также при активации программы происходит привязка к ПК, что фактически исключает несанкционированное использование программы третьими лицами. Так же такое решение позволяет приучить студентов к работе на вычислительном центре кафедры ОМД.

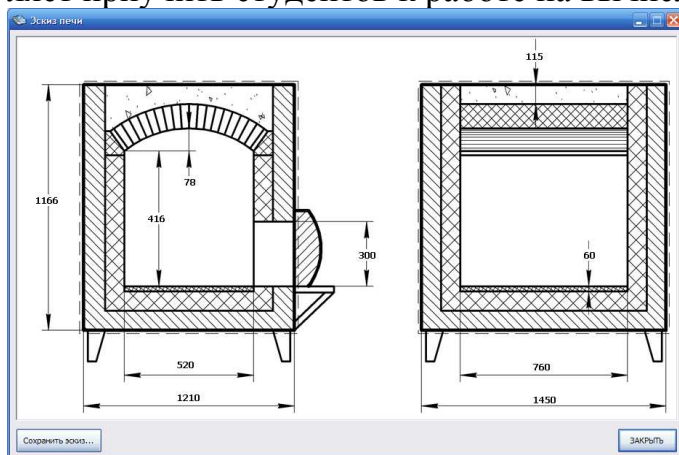


Рисунок 4 – Эскиз печи построенный программой

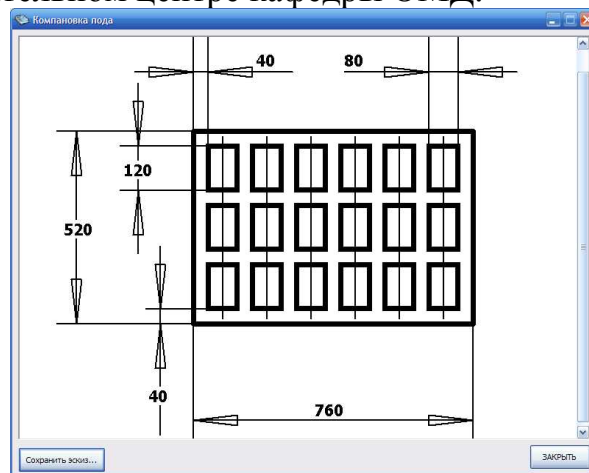


Рисунок 5 – Эскиз пода построенный программой

**- Высокая надежность.** Очень большое внимание было уделено обработке возможных исключений, т.е. ситуаций которые могут привести к ошибке в программе. На каждом этапе работы программа контролирует вводимые пользователем данные, и ограничивает ввод неверных или же заведомо ложных данных, которые обычно могут привести к краху программы. Так, например, при вводе дробных чисел программе все равно что вы будете использовать в качестве десятичного разделителя – точки или запятую, при вводе программа сама подставит нужный знак.

**- База данных.** В программе имеется база данных включающая: значения всех используемых в расчетах коэффициентов и констант, а так же теплофизические параметры материалов нагреваемых заготовок.[1-4]. При этом можно добавлять новые материалы или же вносить какие либо корректировки. Для решения этой задачи был разработан встроенный редактор свойств сталей (рис.6). Это делает программу гибкой и универсальной.

- **Справочная система.** Программа оснащена полной справочной системой. Для ее использования пользователю достаточно нажать F1 или зайти в справочную систему через главное меню.

Программа позволяет выполнять расчёты для печей с постоянной температурой рабочего пространства и предусматривает использование поправочных коэффициентов, учитывающих массивность нагреваемых заготовок, что не всегда гарантирует высокое качество нагреваемых заготовок.

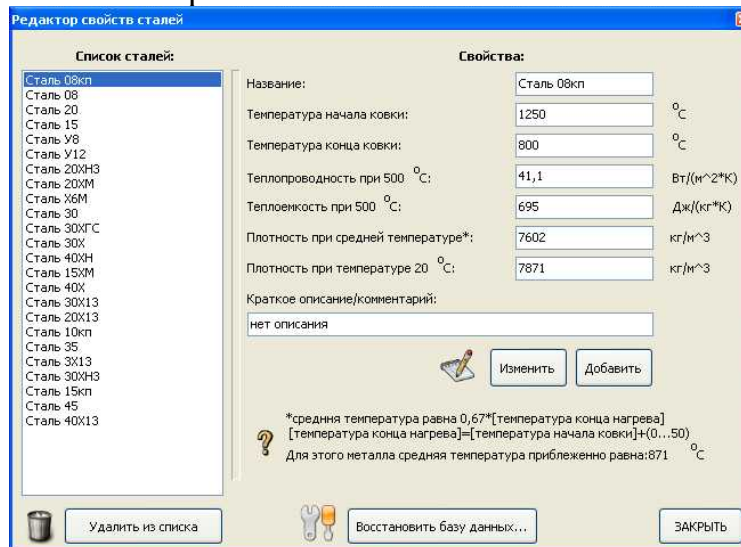


Рисунок 6 –Окно базы данных сталей

В настоящее время авторы ведут разработку методики, алгоритма и программы, осуществляющей вычисление значений температурных полей и полей напряжений, возникающих в сечении заготовки с последующим сравнением их с допустимыми значениями. Это даст возможность контролировать качественно процесс нагрева в камерной печи с постоянной температурой рабочего пространства и, в случае невозможности такого варианта, предлагать полуметодический или методический режим нагрева заготовок, с выполнением его полного проектного расчета.

**Выводы:**

1. Созданы методика, алгоритм и программа расчёта нагрева заготовок в камерных печах с постоянной температурой рабочего пространства с учетом поправок на массивность. Она позволяет выполнять компоновку рабочего пространства печи и элементы эскизного проектирования печи.

2. Создаётся программный комплекс, который в автоматическом режиме будет осуществлять расчет заданного режима нагрева. Кроме того позволит автоматически контролировать качество нагрева и, при необходимости, подбирать оптимальный вариант нагрева, отвечающий заданным условиям и выполнять его полный расчет.

3. Программа активно используется в учебном процессе при изучении курса «Технология нагрева и нагревательные устройства кузнечно-штамповочных цехов».

**Список литературы:** 1. Телегин А. С., Авдеева В. Г. Теплотехника и нагревательные устройства: Учеб. пособие для машиностроительных техникумов по специальности: «Ковочно – штамповочное производство» – М.: Машиностроение, 1985, – 248с. 2. Скворцов А.А., Акименко А.Д., Кузелев М.Я. Нагревательные устройства. – М.: Высшая школа, 1965. - 443 с. 3. Ковка и штамповка: Справочник т.1. Материалы и нагрев. Оборудование. Ковка /Под ред. Е. И.



Семенова. – М.: Машиностроение, 1985. 4. Промышленные печи. Справочное руководство для расчетов и проектирования. 2-е издание, дополненное и переработанное. Казанцев Е. И. М.: Металлургия, 1975, 368с.

**УДК 621.73.043.002**

**ЛОБАНОВ В.К.**, докт. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ», г. Харьков

**ЧУЙКОВА Е.В.**, ГП «Завод им. В.А. Малышева», г. Харьков

## **НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ШТАМПОВКИ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРШНЕЙ ДВС**

Выполнена работа по выбору оптимальной схемы штамповки заготовок поршней энергоагрегата ЭА-10 и транспортного дизеля 2ДТ и проведен анализ свойств поршневых сплавов заготовок из сплава АЛ-25 и АК4-1, изготовленных по различным технологиям.

Ключевые слова: поршень, алюминиевый сплав, штамповка жидкого металла, длительная твердость, кратковременная твердость.

Виконана робота з вибору оптимальної схеми штампування заготовок поршнів енергоагрегата ЕА-10 і транспортного дизеля 2ДТ та проведений аналіз властивостей поршневих сплавів заготовок зі сплаву АЛ-25 та АК4-1, виготовлених по різних технологіям.

Ключові слова: поршень, алюмінієвий сплав, штампування рідкого металу, тривала твердість, короткочасна твердість.

There is executed the work at the choice of optimum circuit of manufacturing of preparations of pistons energy - unit EA-10 and transport diesel engine 2DT and there is carried analysis of properties of piston alloys of preparations from an alloy out Al - 25 and AK4-1, processed on various technologies. Key words: the piston, aluminum alloy, punching of liquid metal, long hardness, short-term hardness.

### **1. Введение**

Высокая надежность работы двигателей внутреннего сгорания (ДВС) обеспечивается качеством и долговечностью поршня – ответственной, тяжелонагруженной и дорогостоящей детали.

Поршни ДВС работают в условиях высокой тепловой и механической напряженности, к ним предъявляются повышенные требования по теплопроводности, статической, динамической и усталостной прочности, антифрикционным свойствам, износостойкости, коррозионной стойкости, а также по удельной массе и коэффициенту линейного расширения.

### **2. Цель работы**

Целью работы является повышение качества поршней путем выбора материала и технологии изготовления. Для реализации поставленной цели исследовали свойства заготовок из сплава АЛ-25 и АК4-1, полученных жидкой штамповкой и горячим прессованием.

### **3. Результаты исследования**

На Харьковском ГП «Завод имени В.А. Малышева» выполнена работа по выбору оптимальной технологии изготовления заготовок поршней энергоагрегата ЭА-10 и транспортного дизеля 2ДТ, незначительно отличающихся по геометрическим параметрам, но работающих в различных условиях тепловой напряженности. Для